



UNODC

Oficina de las Naciones Unidas
contra la Droga y el Delito



Directrices sobre muestreo representativo de drogas

PARA EL USO DE LOS LABORATORIOS NACIONALES DE ANÁLISIS DE DROGAS

Créditos de las fotografías:
Archivo fotográfico de la UNODC

Sección de Laboratorio y Asuntos Científicos de la
OFICINA DE LAS NACIONES UNIDAS CONTRA LA DROGA Y EL DELITO
Viena

Directrices sobre muestreo representativo de drogas

En cooperación con el

**Grupo de trabajo sobre drogas de la
Red Europea de Institutos Forenses**



NACIONES UNIDAS
Nueva York, 2009

ST/NAR/38

PUBLICACIÓN DE LAS
NACIONES UNIDAS
Núm. de venta S.09.XI.15
ISBN 978-92-1-148241-6

Agradecimientos

Las presentes directrices sobre muestreo representativo de drogas han sido elaboradas por el grupo de trabajo sobre drogas de la Red Europea de Institutos Forenses (ENFSI).

Constituyen el resultado de un amplio proceso de consultas entre expertos europeos en materia de drogas celebradas en el período 2001-2003.

La Sección de Laboratorio y Asuntos Científicos de la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito agradece el acuerdo alcanzado con el grupo de trabajo sobre drogas de la ENFSI de publicar las presentes directrices sin modificaciones sustanciales* con objeto de difundirlas ampliamente a nivel internacional.

La lista de colaboradores de las publicaciones originales de la ENFSI figura en la página iv.

La Sección de Laboratorio y Asuntos Científicos de la UNODC desea asimismo expresar su agradecimiento al Dr. Reinoud Stoel, del Instituto Forense de los Países Bajos, por su contribución a la validación de los cuadros y del programa informático.

* Se han efectuado modificaciones en el capítulo 1 (Introducción) con miras a adaptar su uso a nivel internacional. El prólogo de la ENFSI se ha sustituido por el texto mencionado anteriormente. Se han validado los cuadros y el programa informático, y se han realizado las correcciones pertinentes. Asimismo, se ha incluido en el programa informático una aplicación para calcular el número de pastillas. El resto de las directrices se ha mantenido sin cambios sustanciales.

Lista de colaboradores

Sergio Schiavone

(Presidente del subgrupo de muestreo de drogas del grupo de trabajo de la ENFSI)
Reaggruppamento Carabinieri Investigazioni Scientifiche,
Reparto di Roma, Sezione di Chimica
Via Aurelia 511, 00165 Roma, Italia
Teléfono: 0039-06-66394656,
Fax: 0039-06-66394748,
Correo electrónico: s.schiavone@tin.it

Martine Perrin

Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale,
Departament Toxicologie
1, Boulevard Theophile Sueur, F-93111, Rosny Sous Bois Cedex, Francia
Teléfono: 0033-1-49355079,
Fax: 0033-1-49355027,
Correo electrónico: tox.ircgn@gendarmerie.defense.gouv.fr

Hugh Coyle

(también desarrollo de macros)
Forensic Science Laboratory
Department of Justice, Equality and Law Reform, Garda Headquarters,
Phoenix Park, Dublín 8, Irlanda
Correo electrónico: HJCoyle@fsl.gov.ie

Henk Huizer

Netherlands Forensic Institute
Volmerlaan 17, 2288 GD Rijswijk, Países Bajos (hasta el 15 de octubre de 2004)
Correo electrónico: h.huizer@nfi.minjus.nl

Annabel Bolck

Netherlands Forensic Institute
Volmerlaan 17, 2288 GD Rijswijk, Países Bajos (hasta el 15 de octubre de 2004)
Correo electrónico: a.bolck@nfi.minjus.nl

Bruno Cardinetti

Reaggruppamento Carabinieri Investigazioni Scientifiche,
Reparto di Roma, Sezione di Balistica
Via Aurelia 511, 00165 Roma, Italia
Teléfono: 0039-06-66394668,
Fax: 0039-06-66394748,
Correo electrónico: card.bruno@italymail.com

Índice

	<i>Página</i>
1. INTRODUCCIÓN	1
2. DEFINICIONES	3
3. TÉCNICAS DE MUESTREO REPRESENTATIVAS	5
4. MUESTREO ARBITRARIO	7
5. MÉTODOS DE MUESTREO ESTADÍSTICO	9
6. CRITERIOS Y RECOMENDACIONES	23
7. ESTIMACIÓN DEL PESO Y NÚMERO DE PASTILLAS	29
Referencias	33
<i>Anexos</i>	
I. Instrucciones del programa informático	35
II. Muestreo a nivel nacional/regional y en el laboratorio	39

Abreviaturas

ENFSI	Red Europea de Institutos Forenses
EU	Unión Europea (<i>European Union</i>)
GC	garantía de la calidad
CCD	cromatografía en capa delgada
GTCP	grupo de trabajo de cooperación policial
SWGDRUG	grupo de trabajo científico sobre drogas
PNUFID	Programa de las Naciones Unidas para la Fiscalización Internacional de Drogas
UNODC	Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito
GT	grupo de trabajo

1. Introducción

En las presentes directrices se describen varios métodos de muestreo, desde los de carácter arbitrario hasta los que poseen un fundamento estadístico. Se centran en los casos en que se dispone de un gran número de muestras de sustancias relativamente homogéneas. No guardan ninguna relación con el muestreo táctico, como así se conoce, que se utiliza en las inspecciones domiciliarias o en las investigaciones sobre laboratorios clandestinos. Estos casos se caracterizan por la presencia de sustancias diversas, a veces en cantidades y bultos distintos, y la participación, en ocasiones, de distintos sospechosos; se consideran tan específicos y dependientes de cada situación (incluso en materia jurídica) que el establecimiento de una directriz sería insuficiente en muchos casos. Así, las presentes directrices contienen varias estrategias de muestreo para los casos en que exista un gran número de elementos de sustancia relativamente homogénea. No obstante, la descripción de los métodos de muestreo no permite inferir inmediatamente cuál debería preferirse (o cuál sería la óptima). Esto se debe principalmente al hecho de que no es posible definir una estrategia de muestreo si no se han definido sus requisitos con anterioridad. Esta es la razón principal por la que se ha decidido no proporcionar ninguna orientación a nivel local, regional o nacional.

En directrices de ámbito de aplicación más amplio, como las presentes, no pueden proporcionarse orientaciones tan precisas como en un acuerdo específico establecido entre la fiscalía, la policía, y la administración de servicios químicos y laboratorios a escala local, nacional o regional.

Sin embargo, en el capítulo 6 y en el anexo II se abordan algunos aspectos del muestreo a nivel internacional. También se alude a las ventajas e inconvenientes de cada método en relación con la práctica del muestreo. Un enfoque bayesiano parece razonable en muchos casos, si bien su complejidad podría constituir un obstáculo importante, en particular para un tribunal. Afortunadamente, los métodos hipergeométrico y bayesiano parecen arrojar prácticamente los mismos resultados en los casos en que no se utiliza ningún análisis probabilista previo.

Puesto que, con frecuencia, el muestreo es llevado a cabo por la policía o las aduanas, en las directrices no se proporciona ninguna orientación cuando el número de muestras debe calcularse independientemente para cada caso, dado que ello podría causar confusión, u obligar al personal encargado de hacer cumplir la ley a utilizar computadoras o listas con cuadros bayesianos o hipergeométricos. Por lo tanto, las orientaciones finales sobre el muestreo se limitan solo a mencionar el número (mínimo) de muestras que se han de tomar (5, 8 u 11, según las circunstancias). Posteriormente el laboratorio forense podrá llevar a cabo, si procede, la evaluación final y los cálculos de probabilidad.

El objetivo de las presentes directrices es ayudar a los laboratorios de análisis de drogas a adoptar sus estrategias de muestreo más adecuadas y mejores prácticas de trabajo.

2. Definiciones

1. Incautación

Cantidad total de elementos embargados. Puede constituir una sola población o varias.

2. Población

Conjunto de elementos objeto de examen. Una población puede ser real o hipotética, finita o infinita, homogénea o heterogénea. A los efectos de este informe, el término población alude a una población real y homogénea finita, salvo indicación en contrario.

3. Bulto

Contenedor en el que se halla una unidad, o varias, o diversos subbultos

4. Unidad

Único elemento de una población (por ejemplo, una sola pastilla o un solo envase que contiene polvo).

5. Muestra

Una unidad, o varias, de una población.

6. Media

Valor promedio de un conjunto de mediciones. La media puede aludir a:

a) La media aritmética de una población. Es la media verdadera, calculada sobre la base de toda la población. Se indica con la letra μ .

b) La media aritmética de una muestra. Es una estimación de μ , calculada a partir de una muestra de la población. Se indica con la letra \bar{X} .

A menos que se indique lo contrario, el término “media” aludirá a la media aritmética de una muestra, como se describe en 6 b).

7. Desviación típica

Medida de la variación de los valores de un conjunto de mediciones. La desviación típica puede aludir a:

a) La desviación típica de una *población*. Es la desviación típica verdadera calculada sobre la base de toda la población. Se indica con la letra σ . O

b) La desviación típica de una *muestra*. Es una estimación de σ calculada a partir de una muestra de la población. Se indica con la letra s .

A menos que se señale lo contrario, el término “desviación media” aludirá a la desviación típica de una muestra, como se describe en 7 b).

Símbolos

$P =$	probabilidad
$N =$	tamaño de la población
$N_1 =$	número de positivos en una población
$n =$	tamaño de la muestra
$X =$	número de positivos en la muestra
$x =$	valor del número de positivos en la muestra
$r = n - x =$	valor del número de negativos en la muestra
$\theta = \frac{N_1}{N} =$	proporción de positivos en la población
$K =$	valor umbral de positivos garantizados en la población
$k = K/N =$	relación de positivos garantizados en la población
$\alpha =$	índice umbral para la evaluación de confianza
$(1 - \alpha)100\% =$	nivel de confianza
$a =$	primer parámetro de la función beta
$b =$	segundo parámetro de la función beta
$Y =$	número de positivos en las unidades no examinadas
$\mu =$	media aritmética de la población
$\bar{X} =$	media aritmética de la muestra
$\sigma =$	desviación típica de la población
$s =$	desviación típica de la muestra
$w =$	peso total de la muestra
$W =$	peso total estimado de la población
$P_{corr} =$	factor de corrección en la estimación del peso
$Q_{corr} =$	factor de corrección en la estimación del peso

3. Técnicas de muestreo representativas

Puede llevarse a cabo un procedimiento de muestreo representativo en una población de unidades que presente suficientes características externas similares (como tamaño o color). La decisión acerca de la forma de llevarlo a cabo se deja al arbitrio del analista. Es muy importante proporcionar un ejemplo de lo que se entiende por “características externas similares”. Si se examina un grupo de dosis de heroína de la calle, dispuestas en bultos similares, es posible aplicar una regla de muestreo a esa población. Así, si hay 100 dosis de la calle que presentan distintos grupos de características externas, esas 100 dosis deberán separarse en tantos grupos como diferencias haya entre ellas. Cada grupo se considerará una población completa y se muestreará por separado. En ciertos casos, muy improbables, aunque las características externas parezcan las mismas, tras abrir las unidades (muestreo) se apreciarán diferencias enormes entre ellas en cuanto al aspecto del polvo. En este caso, el procedimiento de muestreo deberá detenerse, con arreglo a los criterios mencionados anteriormente. Por lo general, ello ocurre cuando se pasan por alto las características externas de los bultos.

La forma teórica de seleccionar una muestra realmente aleatoria, neutra y representativa de una población es numerar cada uno de sus elementos y luego utilizar un generador de números aleatorios para decidir qué elementos seleccionar. Esto no es posible en la práctica, sobre todo en el caso de poblaciones de gran tamaño que contienen miles de unidades.

Al preparar las muestras, es fundamental observar dos principios:

- que las propiedades de la muestra sean un fiel reflejo de las propiedades de la población de la que se obtuvieron las muestras.
- que todas las unidades de la población tengan la misma probabilidad de ser seleccionadas.

En realidad, acatar estos principios es más difícil de lo que parece al principio. Como se ha mencionado anteriormente, la decisión de seleccionar las muestras se deja al arbitrio del analista, ya que, cuando el tamaño de la población es grande, es imposible numerar todas las unidades y utilizar un protocolo basado en una selección aleatoria de números. Así, al considerar una opción subjetiva, a veces ocurre que el analista tiende a escoger unidades de tamaño parecido, en lugar de realizar un muestreo realmente aleatorio.

La solución práctica para realizar un muestreo aleatorio es bastante sencilla: una vez constatado que las características externas son las mismas, pueden ponerse todas las unidades en una “caja negra” (una bolsa de plástico o un objeto similar), tras lo que se podrá escoger una muestra aleatoriamente. Este tipo de solución puede aplicarse en casos prácticos tales como incautaciones de miles de dosis de heroína en la calle dispuestas en bultos exteriores similares, o de miles de pastillas. En este caso, puede aplicarse el método de muestreo de la “caja negra” para corregir (o al menos reducir al menor valor posible) cualquier posible sesgo que haya provocado la persona que ha seleccionado las muestras. Por método de la “caja negra” entendemos cualquier método que evite que la persona que

realiza el muestreo escoja de forma consciente un elemento específico en la población. Si bien estos métodos no están aún normalizados, cabe consultar el ejemplo anterior.

4. Muestreo arbitrario

A continuación se presentan varios métodos de muestreo arbitrario. En la práctica se utilizan con frecuencia, y ofrecen un buen resultado en muchas situaciones. Sin embargo, no poseen ningún fundamento estadístico, y pueden requerir muestras de gran tamaño en el caso de grandes incautaciones. La lista de procedimientos de muestreo no es exhaustiva, y algunos laboratorios utilizan variantes de estos.

1. Todo ($n = N$)

Ventajas: 100% de exactitud respecto de la composición de la población.

Inconvenientes: Tamaño excesivo de las muestras demasiado grande para las poblaciones de mayor tamaño.

2. $n = 0,05 N$, $n = 0,1 N$, etc.

Ventajas: Enfoque sencillo.

Inconvenientes: Tamaño excesivo de las muestras demasiado grande para las poblaciones de mayor tamaño.

3. $n = \sqrt{N}$, $n = 0,5\sqrt{N}$, $n = \sqrt{\frac{N}{2}}$, etc.

Ventajas: Enfoque ampliamente aceptado.

Inconvenientes: El número de muestras puede ser demasiado pequeño cuando el tamaño de la población es reducido. Tamaño excesivo de las muestras para las poblaciones de mayor tamaño.

4. $n = 20 + 10\%(N - 20)$ (en la que $N > 20$)

Ventajas: Probabilidad de descubrir poblaciones heterogéneas susceptibles de ser descubiertas antes de terminar su análisis.

Inconvenientes: Tamaño excesivo de las muestras demasiado grande para las poblaciones de mayor tamaño.

5. para $N < x$ $n = N$
 $x \leq N \leq y$ $n = z$
 $N > y$ $n = \sqrt{N}$

(en la que $x, y, y z$ son números arbitrarios; $x < y$ y $x \leq z < y$)

Ventajas: Método recomendado por el Programa de las Naciones Unidas para la Fiscalización Internacional de Drogas (PNUFID) ($x = 10$, $y = 100$, $z = 10$).

Inconvenientes: Tamaño de muestras excesivo para las poblaciones de mayor tamaño.

6. $n = 1$

Ventajas: Necesidad mínima de trabajo.

Inconvenientes: Menor cantidad de información en relación con las características de la incautación.

5. Métodos de muestreo estadístico

1. Introducción

Los métodos descritos en el presente capítulo proporcionan medios estadísticamente fundados para determinar el tamaño de las muestras. Los dos primeros se basan en un enfoque frecuentista y el tercero en un enfoque bayesiano.

El enfoque frecuentista se basa en la hipótesis de que una proporción fija y desconocida de la incautación contiene droga. La proporción de droga en una muestra (o unidades de muestreo) permite estimar la proporción de la incautación. La proporción de droga, sin embargo, varía en las distintas muestras. Así, los métodos frecuentistas proporcionan un grado de confianza del $(1-\alpha) 100\%$ (por ejemplo, del 95% si se asigna a α el valor 0,05) de que, en función de una proporción de muestra determinada, la proporción de la incautación será al menos del $k100\%$ (por ejemplo del 90%, si se asigna a k el valor 0,9). Dicho de otro modo, podría afirmarse con certeza que una incautación contiene al menos el 90% de droga en 95 de cada 100 casos.

El enfoque bayesiano se basa en la hipótesis de que la proporción de la muestra es conocida y fija. Esta proporción se utiliza para calcular probabilidades basándose en ciertos valores de la proporción desconocida de la incautación que en ese momento todavía se suponen variables. Aplicando este enfoque se puede incorporar alguna información de la que se disponga en relación con la incautación. Aunque no se conozca la proporción de la incautación, a menudo se tienen algunas ideas sobre ella. Por ejemplo, si todas las plantas de un vivero de cáñamo parecen ser similares, es probable que todas sean plantas de cáñamo. También es posible que no exista ningún indicio sobre la cantidad y el tipo de drogas incautadas. Estas diversas formas de información preliminar dan lugar al empleo de diferentes modelos matemáticos para estimar el tamaño de muestra deseado en el enfoque bayesiano.

La distribución hipergeométrica

Aplicación

La probabilidad de que una muestra de tamaño n contenga X positivos (unidades que contienen drogas ilícitas), sabiendo que la población de tamaño N contiene N_1 positivos, puede calcularse mediante la fórmula siguiente:

$$P(X = x | N_1, N, n) = \frac{\binom{N_1}{x} \binom{N - N_1}{n - x}}{\binom{N}{n}}$$

Esta es la distribución hipergeométrica. El primer método frecuentista (el más ampliamente utilizado) se basa en esta distribución.

En las unidades de muestreo de drogas, se desconoce el número de positivos, N_1 , y de negativos, $N - N_1$. Para determinar estos valores con exactitud debe analizarse toda la muestra. Si se permite cierto grado de incertidumbre, puede utilizarse la distribución hipergeométrica para calcular un tamaño de muestras de n unidades que debe analizarse para que al menos K ($= kN$) unidades sean positivas con una confianza del $(1 - \alpha)100\%$. Por ejemplo, calcúlese n de manera que con un grado de confianza del 95%, al menos el 90% de las pastillas contenga drogas ilícitas. La selección de los valores de los números α y k depende, entre otros factores, de las directrices, los costos y los requisitos legales de cada laboratorio.

Una vez escogido el valor de α y k , y suponiendo un número determinado de positivos previstos en la muestra (generalmente x), el tamaño n de esta puede obtenerse mediante la fórmula anterior. Considérese el caso de probabilidad acumulada $P(X \geq x) = (1 - \alpha)$ y $N_1 = K$. En el cuadro 1 figuran los tamaños de muestra necesarios para algunos valores normalizados de α y k y con diferentes tamaños de población, si todas las unidades muestreadas se consideran positivas. En el cuadro 2 se facilita la misma información si se prevé que una o dos de las unidades muestreadas, o dos, sean negativas (que no contengan drogas). Los tamaños de las muestras también pueden calcularse con un macro en programas informáticos, tales como Excel®, que puede obtenerse en el sitio web de la ENFSI (www.enfsi.eu, en la sección de documentos y publicaciones).

Cuadro 1. Distribución hipergeométrica

Tamaño de la población N	95% de confianza			99% de confianza		
	$k=0,5$	$k=0,7$	$k=0,9$	$k=0,5$	$k=0,7$	$k=0,9$
10	3	5	8	4	6	9
20	4	6	12	5	9	15
30	4	7	15	6	10	20
40	4	7	18	6	10	23
50	4	8	19	6	11	26
60	4	8	20	6	11	28
70	5	8	21	7	12	30
80	5	8	22	7	12	31
90	5	8	23	7	12	32
100	5	8	23	7	12	33
200	5	9	26	7	13	38
300	5	9	27	7	13	40
400	5	9	27	7	13	41
500	5	9	28	7	13	41
600	5	9	28	7	13	42
700	5	9	28	7	13	42
800	5	9	28	7	13	42
900	5	9	28	7	13	43
1.000	5	9	28	7	13	43

Tamaño de la población N	95% de confianza			99% de confianza		
	$k=0,5$	$k=0,7$	$k=0,9$	$k=0,5$	$k=0,7$	$k=0,9$
5.000	5	9	29	7	13	44
10.000	5	9	29	7	13	44

Nota: Tamaño de muestra necesario para garantizar con un grado de confianza del 95% o 99% que la incautación contiene al menos una proporción de drogas k , si se prevé que todas las unidades de muestreo contengan drogas.

Ejemplo 1

Supóngase que una población consta de 100 bultos. Para garantizar con un grado de confianza del 95% que al menos el 90% contiene drogas ilícitas, deberá obtenerse una muestra de 23 bultos, y todos ellos deberán contener drogas ilícitas (véase el cuadro 1).

Con frecuencia se supone que todas las unidades de muestreo contienen drogas. Ello se basa en una experiencia de muchos años al respecto, o sencillamente en el razonamiento de que no es lógico mezclar drogas con otras sustancias, a no ser que se trate, tal vez, de alguna capa de sustancias que se haya colocado sobre ellas para causar distracción. Sin embargo, en ocasiones es posible que una o varias unidades de la muestra no contengan droga. En tal caso, disminuye la confianza garantizada, o la proporción mínima de drogas en la población. La figura I indica que, para un tamaño de muestra 23, el grado de confianza necesario para garantizar una proporción de droga de al menos el 90% se reduce del 95% a casi el 77% si una unidad de muestreo, en lugar de 0 ($N = 100$), no contiene droga. Otra alternativa, probablemente más útil a los efectos de la presentación de un caso ante un tribunal, es mantener la probabilidad del 95% y calcular posteriormente la proporción mínima de drogas. Según la figura II, la proporción garantizada con un grado de confianza del 95% disminuye del 90% al 84% (para un tamaño de muestra de 23, un negativo en lugar de 0, y $N = 100$). El cuadro 2 indica que es necesario contar con una muestra de tamaño 36 para garantizar, con un grado de confianza del 95%, que al menos el 90% de la población contenía droga, suponiendo de antemano que existía un negativo en la muestra.

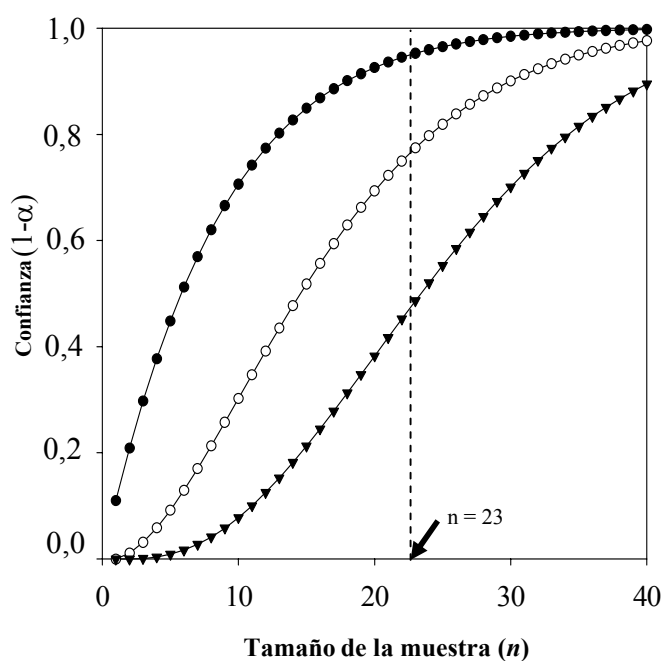
Cuadro 2. Distribución hipergeométrica

Tamaño de la población N	95% de confianza			99% de confianza		
	$k=0,5$	$k=0,7$	$k=0,9$	$k=0,5$	$k=0,7$	$k=0,9$
	1 neg. 2 neg.	1 neg. 2 neg.	1 neg. 2 neg..	1 neg. 2 neg..	1 neg. 2 neg.	1 neg. 2 neg..
10	5 7	7 9	10 –	6 7	8 9	10 –
20	6 8	10 13	17 20	8 10	12 14	19 20
30	7 9	11 14	22 27	8 11	14 17	25 29
40	7 9	12 15	26 32	9 11	15 18	30 35
50	7 10	12 16	29 36	9 12	16 20	34 41
60	7 10	12 16	31 39	9 12	16 20	38 45
70	7 10	13 17	32 41	10 12	17 21	40 48

Tamaño de la población N	95% de confianza						99% de confianza					
	$k=0,5$		$k=0,7$		$k=0,9$		$k=0,5$		$k=0,7$		$k=0,9$	
	1 neg. 2 neg.	1 neg. 2 neg.	1 neg. 2 neg.	1 neg. 2 neg.	1 neg. 2 neg.	1 neg. 2 neg.	1 neg. 2 neg.	1 neg. 2 neg.	1 neg. 2 neg.	1 neg. 2 neg.	1 neg. 2 neg.	
80	7	10	13	17	34	43	10	12	17	21	42	51
90	7	10	13	17	35	45	10	13	17	21	44	54
100	7	10	13	17	36	46	10	13	17	22	46	56
200	8	10	14	18	40	53	10	13	18	24	54	67
300	8	10	14	19	42	55	10	13	19	24	57	71
400	8	11	14	19	43	57	10	13	19	24	58	74
500	8	11	14	19	44	58	10	14	19	24	59	75
600	8	11	14	19	44	58	10	14	19	25	60	76
700	8	11	14	19	44	59	11	14	19	25	61	77
800	8	11	14	19	44	59	11	14	19	25	61	77
900	8	11	14	19	45	59	11	14	19	25	61	78
1.000	8	11	14	19	45	59	11	14	19	25	62	78
5.000	8	11	14	19	46	61	11	14	20	25	64	81
10.000	8	11	14	19	46	61	11	14	20	25	64	81

Nota: Tamaño de muestra necesario para garantizar con un grado de confianza del 95% o 99% que la incautación contiene al menos una proporción de drogas k , si se prevé que 1 ó 2 unidades de muestreo no contengan droga (1 ó 2 negativos).

Figura I. Grado de confianza con respecto al tamaño de la muestra

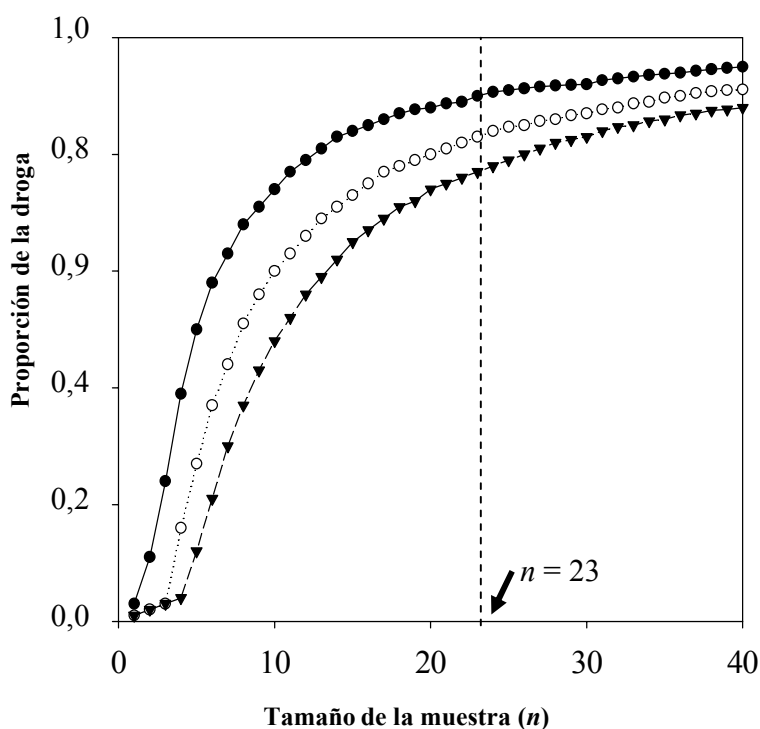


Grado de confianza con respecto al tamaño de la muestra ($N = 100$; $k = 0,9$) para 0, 1, y 2 negativos previstos.

Líneas -●- para 0 negativos; -○- para 1 negativo; -▼- para 2 negativos

Desde un punto de vista estadístico, no es correcto muestrear otras 13 unidades, además de las 23, si se constata que una de estas, previo análisis, no contiene droga. Antes del muestreo deberá determinarse el número de negativos previsto en la muestra. Si se aprecia más adelante que una unidad muestreada, o varias, son negativas, ello repercutirá en la confianza y/o la proporción garantizada. Esta propiedad hace que el muestreo mediante la distribución hipergeométrica (y otros métodos frecuentistas) sean difíciles de entender de forma intuitiva.

Figura II. Grado de confianza con respecto al tamaño de la muestra



Grado de confianza con respecto al tamaño de la muestra ($N = 100$; $k = 0,95$) para 0, 1, y 2 negativos previstos.

Líneas -●- para 0 negativos; -○- para 1 negativo; -▼- para 2 negativos

Ejemplo 2

Si basta garantizar con una alta probabilidad (por ejemplo del 95%) que hay droga en la mayor parte (>50%) de la muestra (de 100), solo será necesaria una muestra de cinco (véase el cuadro 1), siempre que no se encuentre ningún negativo.

Teoría

Esta sección está destinada a quienes deseen más información básica sobre la distribución hipergeométrica y el cálculo de los valores que figuran en el cuadro.

La distribución hipergeométrica y por lo tanto la teoría presentada a continuación, supone que las muestras se toman sin ser sustituidas. El tamaño de muestra que debe tomarse en una población de tamaño N se calcula mediante la verificación de la hipótesis de partida de que el número de positivos en la población es inferior a K , frente a la hipótesis alternativa de que el número de positivos es al menos igual a K .

$$H_0 : N_1 < K \quad u \quad H_1 : N_1 \geq K$$

Para procesar a una persona por todas las unidades incautadas, es deseable que $NK_1 \geq K$. Deben hallarse pruebas que permitan rechazar la hipótesis de partida. Con todo, no se permiten errores importantes. Esto quiere decir que la probabilidad de que la hipótesis de partida sea rechazada, a pesar de ser cierta, debe ser reducida, o sea al α 100%. Esto proporciona un grado de confianza del $(1-\alpha)$ 100%. Las hipótesis se verifican tomando el número de positivos en la muestra X como la estadística del ensayo. La hipótesis de partida se rechaza si X es superior a un cierto valor. Si ese valor se considera el número de positivos previstos en la muestra, x , entonces n deberá escogerse de modo que

$$P(X \geq x \mid N_1 < K) \leq \alpha$$

Es decir, el tamaño de la muestra n debe escogerse de manera tal que, con arreglo a la hipótesis de partida, la probabilidad del número de positivos en la muestra superior a x sea menor que α . Esta distribución hipergeométrica aumenta a medida que N_1 disminuye, y por lo tanto todas las probabilidades con valores de $N_1 < K$ son inferiores a la probabilidad en que $N_1 < K-1$. Así el valor de n debe seleccionarse de manera que:

$$P(X \geq x \mid N_1 < K) = \sum_{i=x}^n \frac{\binom{K-1}{i} \binom{N-K+1}{n-i}}{\binom{N}{n}} \leq \alpha$$

Si $x = n$, la fórmula anterior se reduce a

$$\frac{\binom{K-1}{n} \binom{N-K+1}{0}}{\binom{N}{n}} \leq \alpha$$

Es decir,

$$P_0 = \frac{(K-1)!(N-n)!}{(K-n-1)!N!} = \frac{(K-1)(K-2)\dots(K-n)}{N(N-1)\dots(N-n+1)} \leq \alpha$$

Para un "negativo" en la muestra, la desigualdad anterior se reduce a

$$P_0 \left[1 + \frac{n(N - K + 1)}{(K - n)} \right] \leq \alpha,$$

Y para dos "negativos", la desigualdad se reduce a:

$$P_0 \left[1 + \frac{n(N - K + 1)}{(K - n)} \left\{ 1 + \frac{(n - 1)(N - K)}{2(K - n + 1)} \right\} \right] \leq \alpha, \text{ y así sucesivamente.}$$

Obsérvese que las fórmulas anteriores se han simplificado, y que no se cumplen en el caso extremo de que $P_0 = 0$. Si $P_0 = 0$, las probabilidades de que existan uno y dos "negativos" no deben restringirse para que sean iguales a cero. En el programa informático se tiene esto en cuenta. En el informe de validación, que puede obtenerse previa solicitud, figura una explicación más pormenorizada.

La distribución binomial

Aplicación

Este es el segundo método basado en un enfoque frecuentista. Se trata de un método más fácil, si bien solo puede emplearse en casos específicos. La distribución binomial se basa en un muestreo por sustitución. Esto significa que la unidad se repone una vez que se ha muestreado y analizado antes de muestrear la siguiente unidad. Por supuesto, esto no constituye una práctica en el muestreo de drogas. Sin embargo, en los casos en que la incautación es grande (al menos 50, o preferiblemente más) y la muestra relativamente pequeña, en lugar de la distribución hipergeométrica puede utilizarse la distribución binomial, menos compleja. En tal caso, la probabilidad de que una muestra de tamaño n contenga X positivos (unidades que contienen drogas ilícitas), si la población de tamaño N contiene una proporción de $\theta = \frac{N_1}{N}$ positivos, será

$$P(X = x | \theta, n) = \binom{n}{x} \theta^x (1 - \theta)^{n-x}$$

Asimismo, al igual que en el caso de la distribución hipergeométrica, la distribución binomial puede emplearse para calcular un tamaño de muestra n tal que con un $(1-\alpha)$ 100% de confianza pueda afirmarse que al menos una proporción de $K/100\%$ es positiva. Los cálculos basados en la distribución binomial son más fáciles que en el caso de la distribución hipergeométrica. Sin embargo, debe tenerse presente que la distribución binomial es una estimación. El tamaño de muestra estimado con ella será ligeramente superior al real. Únicamente en el caso de un gran número de incautaciones (miles, en ocasiones) coincidirán los tamaños de muestra calculados con ambas distribuciones.

Si no se prevé la existencia de negativos, el tamaño de muestra n que permite afirmar con una confianza del $(1-\alpha)100\%$ que al menos una proporción de $k/100\%$ es positiva, puede calcularse mediante el valor mínimo para el que

$$n \leq \frac{\log \alpha}{\log \theta}$$

independientemente del tamaño de la población. Si se hallan negativos en la muestra, deberán adaptarse las conclusiones de forma similar a como se hace en el caso de la distribución hipergeométrica. También puede recurrirse a los cuadros o al programa informático del sitio web de la ENFSI (www.enfsi.eu).

Ejemplo 1

Supóngase que ha tenido lugar una gran incautación. Los oficiales de policía responsables creen, basándose en su experiencia, que podría tratarse toda ella de heroína. Incluso si solo la mitad fuera heroína seguiría siendo una gran incautación. Por lo tanto, bastará una muestra que garantice con una confianza del 95% que al menos el 50% de la incautación es droga. En el cuadro 3 se refleja que en ese caso, el tamaño de la muestra será de cinco, si se supone que no hay negativos.

Ejemplo 2

Para garantizar con un grado de confianza del 95% que al menos el 90% de las pastillas contienen droga, debe obtenerse una muestra de 29 unidades (si se supone que no hay negativos en ella). Compárese este caso con el de una distribución hipergeométrica para una muestra obtenida en una población de 100 unidades. El tamaño de la muestra será únicamente 23. Solo si el tamaño de la población es igual o superior a 1.600 los resultados de la distribución binomial y los de la distribución hipergeométrica coincidirán para estos valores específicos de $(1-\alpha)$ 100% y k .

Teoría

La teoría en la que se basa la distribución binomial es similar a la de la distribución hipergeométrica. Las hipótesis son las siguientes:

$$H_0 : \theta < k$$

$$H_1 : \theta \geq k$$

Cuadro 3. Distribución binomial

Tamaño de la población N	95% de confianza			99% de confianza		
	$k=0,5$	$k=0,7$	$k=0,9$	$k=0,5$	$k=0,7$	$k=0,9$
0 negativos	5	9	29	7	13	44
1 negativo	8	14	46	11	20	64
2 negativos	11	19	61	14	25	81

Nota: Tamaño de muestra necesario para garantizar con un grado de confianza del 95% o 99% que la incautación contiene al menos una proporción de drogas k , si se prevé que 0, 1 ó 2 unidades de muestreo no contengan droga (0, 1 ó 2 negativos). Utilícese únicamente en caso de grandes incautaciones.

Para escoger el valor de n , deberá resolverse la siguiente ecuación:

$$P(X \geq x \mid \theta < k) = \sum_{i=x}^n \binom{n}{i} \theta^i (1-\theta)^{n-i} \leq \alpha.$$

Así, en este caso, para el que $x = n$, la ecuación que debe resolverse es

$$\theta^n \leq \alpha,$$

Es decir, habrá que hallar el valor mínimo para el que

$$n \leq \frac{\log \alpha}{\log \theta}.$$

La distribución binomial es una estimación de la distribución hipergeométrica. El valor de n hallado mediante la distribución binomial siempre será igual o superior al obtenido mediante la distribución hipergeométrica.

Enfoque bayesiano

Aplicación

En el enfoque bayesiano (al igual que en el frecuentista) puede distinguirse entre los muestreos con sustitución y sin sustitución. El muestreo con sustitución es más sencillo, y puede utilizarse como estimación en los casos en que el tamaño de la población sea al menos de 50, y la muestra relativamente pequeña. Al contrario que en el caso de la distribución binomial, la sobreestimación no constituye ningún problema. Esta es la razón por la que el muestreo mediante estimación con por sustitución se utiliza mucho más en el enfoque bayesiano.

En el enfoque bayesiano se supone que, aunque no se conozca la proporción de la población, puede haber algunas ideas sobre su tamaño. Estas ideas se representan mediante una distribución de probabilidad, $p(\theta)$, denominada distribución de proporción preliminar. Esta incertidumbre se combina con la información obtenida de la muestra para obtener una denominada distribución posterior de proporción sobre la base de los resultados de la muestra. Mediante esta distribución posterior es posible calcular directamente la probabilidad de que la proporción de droga sea igual o superior a k (dados los resultados de la muestra) sin la realización de ensayos ni la utilización de intervalos de confianza. Esto se debe a que en el enfoque bayesiano se calcula directamente $P(\theta > k | x, n)$ en lugar de $P(X > x | \theta > k, n)$, como se hace en el frecuentista.

Incautación de 50 unidades o más

Si el tamaño de una población es grande ($N \geq 50$) y la muestra es relativamente pequeña comparada con la población, la función de densidad de probabilidad para la proporción θ de positivos, habida cuenta de que una muestra de tamaño n contiene x positivos, será

$$f(\theta | x, n, a, b) = Be(x + a, n - x + b) = \frac{\theta^{x+a-1} (1 - \theta)^{n-x+b-1}}{B(x + a, n - x + b)}.$$

Esta es la distribución beta de parámetros $x + a$ y $n - x + b$. Los parámetros a y b han de escogerse previamente en función de la información y el conocimiento o las hipótesis anteriores relativos a θ . La distribución posterior presentada anteriormente se basa en el conocimiento previo y la información relativa a los datos (el tamaño n de la muestra y el número de positivos en la muestra x). Be denota la distribución beta y B la función beta. Consúltese la sección “Teoría” para ampliar esta información.

La probabilidad de que la proporción de población sea superior a k puede calcularse mediante $P(\theta > k | x, k, n)$. Esto puede emplearse para seleccionar un tamaño de muestra n de tal manera que la probabilidad de que $\theta > k$ sea $(1-\alpha) 100\%$. Por ejemplo, escójase un valor de n de forma que exista una probabilidad del 95% de que al menos el 90% de las pastillas contengan drogas ilícitas. Los cálculos son independientes del tamaño de la población. El cálculo basado en la distribución beta para hallar dicho valor de n se efectúa mejor con la ayuda de una computadora. Los datos del cuadro 4 se basan en cálculos realizados por computadora mediante el marco disponible en el sitio web de la ENFSI (www.enfsi.eu). Al igual que en el caso de los métodos frecuentistas, hay que suponer previamente el número de positivos de la muestra, y adaptar las conclusiones si después este número no es correcto. Tampoco en este caso se prevén negativos en la mayoría de los casos.

Además del número previsto de positivos en la muestra, hay que escoger una distribución preliminar. En general se tratará de una distribución beta. Una posibilidad es asignar el valor 1 a los parámetros a y b , si no se dispone de ninguna información previa acerca del contenido de las pastillas. Así, la distribución preliminar será igual a la distribución uniforme. Otra posibilidad es asignarles el valor 0,5 si se sabe de antemano que todas las pastillas contienen droga, o que ninguna de ellas la contiene. Empléense los valores $b = 1$ y $a = 3$ (o incluso superiores) si se considera, a base de una inspección ocular o la experiencia, que probablemente todas contengan droga. Por ejemplo, si se hallan 100 bultos similares que contienen polvo exactamente del mismo color blanco, la misma estructura e idéntico peso. El muestreo de un vivero de cáñamo podría constituir incluso un caso más extremo.

Cuadro 4. Distribución beta (de parámetros $x + a$ y $n - x + b$)

a = 1 b = 1	95% de confianza			99% de confianza		
	k=0,5	k=0,7	k=0,9	k=0,5	k=0,7	k=0,9
0 negativos	4	8	28	6	12	43
1 negativo	7	13	45	10	19	63
2 negativos	10	18	60	13	24	80

a = 3 b = 1	95% de confianza			99% de confianza		
	k=0,5	k=0,7	k=0,9	k=0,5	k=0,7	k=0,9
0 negativos	2	6	26	4	10	41
1 negativo	5	11	43	8	17	61
2 negativos	8	16	58	11	22	78

a = 0,5 b = 0,5	95% de confianza			99% de confianza		
	k=0,5	k=0,7	k=0,9	k=0,5	k=0,7	k=0,9
0 negativos	3	6	18	5	10	32
1 negativo	6	12	38	9	17	55
2 negativos	9	17	54	12	22	73

Nota: Tamaño de muestra necesario para garantizar con una probabilidad del 95% o el 99% que la incautación contiene al menos una proporción de drogas k , si se prevé que 0,1 ó 2 unidades de muestreo no contienen droga (0, 1 ó 2 negativos). Se supone una incautación de gran tamaño ($N \geq 50$). Utilícese ($a=1, b=1$) si no se dispone de información previa, ($a=0,5, b=0,5$) si es razonable suponer que todo el contenido es droga, o no hay droga, ($a=3, b=1$, o valores más elevados) si existen indicios de que todo el contenido, o su mayor parte, es droga.

Ejemplo 1

Para cerciorarse con un 95% de probabilidad, sin conocimiento previo (véase el cuadro 4, con $a = 1, b = 1, 0$ negativos), de que al menos el 90% de todas las pastillas contienen drogas ilícitas, en el enfoque bayesiano se requiere un tamaño de muestra igual a 28. Este valor es superior al obtenido mediante la distribución hipergeométrica, en la que únicamente se requieren 23 unidades (véase el cuadro 1). Sin embargo, si está muy claro que se trata de droga, y se dispone de información práctica de que probablemente todo su el contenido sea droga, el tamaño de la muestra se reduce a 26 ($a = 3, b = 1$), o incluso a 19 ($a = 10, b = 1$; obsérvese que este es un valor calculado que no figura en el cuadro).

Ejemplo 2

Para garantizar con una probabilidad del 95% que al menos la mitad de la incautación contiene droga, solo se requiere un tamaño de muestra igual a cuatro (si no se prevé hallar negativos en la muestra). En casos muy extremos este valor podrá reducirse o aumentarse en uno o dos. Por lo general, para garantizar al menos un 50% de droga (con una probabilidad del 95%), un tamaño de muestra igual a cuatro será pertinente.

Incautaciones de menos de 50 unidades

Si la partida es pequeña ($N < 50$), conviene más analizar el número de positivos en las unidades que no han sido examinadas, en lugar de la proporción de positivos. La función de densidad de probabilidad para el número de positivos en las unidades no examinadas Y , teniendo en cuenta que una muestra de tamaño n contiene x positivos, será

$$f(Y | x, n, (N - n), a, b) = \frac{\Gamma(n + a + b) \binom{N - n}{y} \Gamma(y + x + a) \Gamma(N - x - y + b)}{\Gamma(x + a) \Gamma(n - x + b) \Gamma(N + a + b)}$$

Esta es la distribución beta-binomial.

La probabilidad de que el número de positivos en las pastillas no examinadas sea superior a y puede calcularse mediante $P(Y \geq y | x, n, N)$. Ello puede emplearse para seleccionar un tamaño de muestra n tal que la probabilidad de que $Y > y$ sea del $(1-\alpha)$ 100%. Los cálculos relativos a la distribución beta-binomial para hallar ese valor de n (con un programa informático estadístico, o un macro de Excel) deberían efectuarse por computadora, o al menos con una calculadora científica. Al igual que en los métodos frecuentistas, es necesario estimar previamente el número de positivos de la muestra, y adaptar las conclusiones si después ese número no es correcto.

Al contrario que en el método binomial bayesiano para las grandes incautaciones, el tamaño de muestra calculado para las pequeñas incautaciones dependerá del tamaño de éstas. Además, los cálculos relativos a la proporción no pueden realizarse de forma muy precisa debido a los pequeños valores utilizados. Por lo tanto, posiblemente sea mejor utilizar la distribución hipergeométrica para las pequeñas incautaciones, o bien los tamaños de muestra calculados mediante el método bayesiano para las grandes incautaciones como estimación en el caso de las pequeñas incautaciones.

Teoría

Esta sección está destinada a quienes deseen obtener más información sobre el modo de calcular los valores que figuran en los cuadros.

El enfoque bayesiano permite utilizar información previa relativa a un parámetro (por ejemplo, la proporción de droga de una incautación); combinando esta información previa con los resultados del muestreo, se obtiene información posterior sobre dicho parámetro. Si θ es el parámetro de interés y x los datos de la muestra, el teorema de Bayes puede expresarse como:

$$P(\theta | x) = \frac{P(x | \theta)p(\theta)}{P(x)}$$

Esta expresión suele conocerse como la fórmula de Bayes:

$$P(\theta | x) \propto L(\theta | x)p(\theta).$$

En este caso, $p(\theta)$ es la distribución preliminar, que representa la incertidumbre relativa a θ . Si no se tiene ningún conocimiento ni idea acerca de θ , todos valores (comprendidos entre 0 y 1, si θ es una proporción) serán igual de probable que cualquier otro. Por lo tanto, $p(\theta)$ será una distribución uniforme. Este es un caso especial de distribución beta. Por lo general, se supone una distribución beta de parámetros a y b .

La distribución beta $Be(a,b)$ viene determinada por la fórmula

$$f(\theta | a, b) = \frac{\theta^{a-1} (1 - \theta)^{b-1}}{B(a, b)}$$

en la que la función beta $B(a,b) = \int_0^1 y^{a-1} (1 - y)^{b-1} dy$,

También puede expresarse como $B(a,b) = \Gamma(a)\Gamma(b)/\Gamma(a+b)$, en la que se ha usado la función gamma Γ .

Si no se dispone de información previa sobre la incautación, el valor de a y b será 1 (distribución uniforme). Si se dispone de ella, por ejemplo, si todas las unidades incautadas presentan las mismas características (visuales), deberá asignarse un valor distinto a a y b . Si todas las pastillas presentan un aspecto similar, lo más probable es que haya droga en todas, o bien en ninguna, y en tal caso el valor de a y el de b será de 0,5. Si existe una sospecha fundada de la existencia de droga, y es muy probable que el valor de θ sea alto, el valor de a podría ser 3 y el de b igual a 1, o incluso superior, por ejemplo $a = 10$ y $b = 1$. En la estimación del valor de a también pueden tenerse en cuenta los resultados de la prueba de la gota.

En la fórmula de Bayes, $L(\theta | x)$ es la función de probabilidad. Esta función proporciona información sobre los datos. De hecho, es la misma función de probabilidad que utilizan los métodos frecuentistas cuando $N > 50$ (distribución binomial), con la salvedad de que los datos (x) se suponen constantes y el parámetro θ variable.

La función de probabilidad puede utilizarse con la información preliminar a la distribución posterior de la proporción θ , habida cuenta de los datos

$$f(\theta | x, n, a, b) = Be(x + a, n - x + b) = \frac{\theta^{x+a-1} (1 - \theta)^{n-x+b-1}}{B(x + a, n - x + b)}.$$

Si todas las pastillas muestreadas contienen droga ($x = n$), se expresará como

$$f(\theta | n, n, a, b) = Be(n + a, b) = \frac{\theta^{n+a-1} (1 - \theta)^{b-1}}{B(n + a, b)}.$$

Para calcular el tamaño de muestra n de forma que al menos el k 100% de las pastillas contengan droga con una probabilidad del $(1 - \alpha)$ 100%, deberá resolverse la ecuación siguiente:

$$P(\theta > k | n, n, a, b) = \int_k^1 \theta^{n+a-1} (1 - \theta)^{b-1} d\theta / B(n + a, b) = (1 - \alpha)100\%.$$

La misma teoría bayesiana sobre el teorema de Bayes se cumple con respecto a las pequeñas partidas. La distribución de $P(Y | N-n, \theta)$ será en ese caso binomial. Al combinarla con la distribución beta preliminar para θ , la distribución posterior obtenida para $P(Y | N - n, \theta)$ será beta-binomial.

6. Criterios y recomendaciones

En los capítulos anteriores se han descrito de forma somera varias estrategias de muestreo. Si bien se han presentado las ventajas e inconvenientes de determinados métodos, no se ha recomendado ninguno. En este capítulo se examinan diversos criterios acerca de la utilización de algunos de esos métodos, y se mencionan y debaten varios aspectos conexos, con objeto de ayudar a los laboratorios a escoger los métodos más adecuados, o las “mejores prácticas”.

1. La base del muestreo

La base del muestreo consiste en que la composición obtenida de las muestras denota, en principio, la composición de todo el lote. En consecuencia, solo puede investigarse una parte de todos los bultos incautados. El muestreo es una acción intencionada que evita que las medidas se lleven a la perfección (innecesaria o imposible) por razones de eficiencia y rentabilidad. Por ejemplo, si se obtiene una muestra entre una población de 10, y su análisis indica que es cocaína, la hipótesis de que sea la única muestra que contiene cocaína es mucho más improbable (10%) que la hipótesis de que la mayoría de los 10 elementos contienen cocaína (más del 50%).

2. El objetivo del muestreo

En realidad, las estrategias de muestreo dependen enteramente de la cuestión, y por lo tanto del problema, que debe resolverse. Pueden existir distintas necesidades relativas al procesamiento, la posesión, la producción o el tráfico ilícito. Por lo general, la cuestión se deriva de las legislaciones o políticas (habituales) nacionales, o en ocasiones dimana directamente de la opinión del fiscal o de los oficiales de policía.

A continuación se presenta de manera simplificada el procedimiento de muestreo, teniendo en cuenta una secuencia de cargas de trabajo creciente:

- A. Muestreo mínimo: ¿se ha hallado droga? (para ello sería necesario un resultado positivo);
- B. Muestreo intensificado: ¿se ha hallado droga en (más de) una proporción determinada de elementos?
- C. Muestreo máximo: ¿contienen droga todos los elementos? (ello puede requerir el análisis íntegro de todos los elementos, lo que acarrearía costos muy elevados, sobre todo si se trata de un gran número de unidades).

Es evidente que, en el caso de las grandes incautaciones, por lo general se considera razonable el procedimiento B (muestreo intensificado), que habitualmente permite a los científicos adoptar un método estadístico. En este caso, podemos escoger el nivel de confianza deseado. Un aumento del nivel de confianza del 95% al 99% dará lugar a un aumento del número de muestras que deben obtenerse; según las condiciones, podrían necesitarse más del doble. En términos estadísticos, el valor de 95% es muy corriente, y

está ampliamente aceptado, por lo que se recomienda establecer un nivel de confianza del 95% como norma.

3. Ley de rendimientos decrecientes

Salvo cuando se hayan establecido políticas nacionales en materia de prácticas de muestreo, una cuestión primordial en todos los métodos estadísticos es determinar la proporción mínima (cantidad mínima) del lote que debe dar "positivo" para demostrar la presencia de droga. Esto tiene una importante repercusión con respecto al número de muestras que deben obtenerse. Y también plantea la cuestión del motivo y los costos. En el cuadro 5 figura el número de muestras que deben obtenerse para afirmar que una determinada proporción (porcentaje) de la incautación arroja resultados positivos con un nivel de confianza del 95% (suponiendo que toda la muestra es positiva).

Cuadro 5. Distribución hipergeométrica

<i>Proporción de incautaciones con un valor mínimo de positivos</i>	<i>Para incautaciones de 100 unidades</i>	<i>Para incautaciones de 1000 unidades</i>
50%	5	5
60%	6	6
70%	8	9
80%	12	14
90%	23	28
95%	39	56

Nota: Número de muestras que deben obtenerse para describir (con una confianza del 95%) una determinada proporción de droga en una incautación, suponiendo 0 negativos en la muestra.

Es evidente que cuanto mayor sea la proporción positiva necesaria, mayor deberá ser el tamaño de la muestra. Sin embargo, en una proporción determinada (70% a 80%), un aumento relativamente pequeño de su valor exige un aumento relativamente grande del número de muestras, lo que se conoce generalmente como la "Ley de rendimientos decrecientes". Esto también se demuestra claramente de manera gráfica en la figura II; para una proporción mayor que el 70% al 80%, la pendiente disminuye, lo que indica una relación negativa entre costos y beneficios. Debe procurarse un equilibrio entre los costos derivados del aumento exponencial del tamaño de las muestras y el aumento de la proporción garantizada de droga que se obtiene de ello.

4. Métodos hipergeométrico y bayesiano

Si bien pueden emplearse muchos métodos distintos, el enfoque hipergeométrico parece ser el más ampliamente aceptado. No obstante, es bastante rígido y con frecuencia da lugar a un número de muestras muy grande, en ocasiones superfluo. Por este motivo, varios laboratorios europeos han optado por el método bayesiano. Este permite emplear otro tipo de información pertinente, denominada preliminar (por ejemplo, características externas).

El problema principal que plantea el método hipergeométrico es que es excluyente. No permite tener en cuenta otros aspectos. Si bien la inspección ocular u olfativa, así como

un examen previo, pueden ayudar en el análisis de la sustancia incautada, no hay manera de incorporar al método hipergeométrico la información obtenida mediante esas técnicas. Un ejemplo pone este problema de manifiesto. Para investigar un campo de cáñamo de 5.000 plantas, según los cuadros hipergeométricos deberán obtenerse 29 muestras. Un valor muy elevado, sobre todo para un experto avezado que lleve varios años de trabajo en el análisis del cáñamo y que, entre otras cosas, pueda olerlo, observar las lámparas y el grado de nutrición, y consultar libros sobre el cultivo en viveros de cáñamo. ¿Sigue siendo necesario obtener esas 29 muestras? En un gran número de casos análogos, un único muestreo sería suficiente. Hablando de manera más abstracta, en los casos en que se aporta más información, la utilización estricta del método hipergeométrico da origen a un número de muestras demasiado alto. El desacuerdo entre el modelo hipergeométrico y la realidad se demuestra asimismo al estudiar el caso del campo de cáñamo desde otro punto de vista. Supóngase que se han obtenido 29 muestras y que todas son de cáñamo. Según el modelo hipergeométrico, existe un 95% de probabilidad de que al menos el 90% de las plantas sean efectivamente de cáñamo. Esta conclusión parece poco realista y, de cualquier modo, arroja un resultado demasiado bajo (incluso ridículo) para quienes hayan visitado el campo de cáñamo u observado sus fotografías. De nuevo se constata un desacuerdo entre el enfoque matemático y el “sentido común”.

El método bayesiano permite incorporar en un modelo la información adicional mencionada anteriormente mediante la utilización de una distribución preliminar. Ésta, por lo general, es una distribución beta de parámetros “ a ” y “ b ”. Cuanto mayor sea la información adicional, es decir, cuanto más clara sea la presencia de droga en todas las unidades, más alto deberá ser el valor del parámetro “ a ”. Si todas las plantas poseen el mismo aspecto y pueden identificarse visualmente como cáñamo, y cabe asimismo descartar la hipótesis de que se trata de otro tipo de planta, puede escogerse un valor muy elevado para “ a ” (por ejemplo, 40). Así, solo deberá obtenerse una única muestra. El valor exacto de “ a ”, sin embargo, puede ser objeto de debate, puesto que no existen normas al respecto. Un caso similar, si bien menos patente, es el de un camello (“mula”) interceptado en un aeropuerto a su llegada de Sudamérica, con 80 bultos habituales de plástico y goma. Una vez incautados, todos presentan un aspecto similar. Al abrir dos se constata que contienen polvo blanco. Posteriormente se envían a un laboratorio para analizarlos. A diferencia del ejemplo del campo de cáñamo, se dispone de menos información sobre el polvo, y la similitud radica en las condiciones y situaciones. En el marco del enfoque bayesiano, puede escogerse una distribución preliminar con un valor elevado de “ a ”, aunque muy inferior al del caso anterior.

Por lo general, se reconoce la importancia de la experiencia profesional. Esta importancia no puede vincularse a la distribución hipergeométrica. En 1992, Sutherland afirmó que en los casos en que exista un gran número de bultos y se constata en una inspección ocular, que contienen sustancias de aspecto semejante, en principio cabe considerar que todos parecen contener el mismo tipo de droga (este criterio es válido únicamente en el análisis cualitativo). En los casos de importación o exportación, debido a sus propias características, la incautación lógicamente contendrá droga. Según la experiencia adquirida en los Países Bajos, los casos de droga mezclada con otras sustancias son muy excepcionales. A modo de indicación, de las decenas de miles de casos analizados, solo en uno de ellos se hallaron algunas muestras negativas. Esta experiencia puede vincularse al enfoque bayesiano, si bien en la actualidad no existe ninguna norma al respecto.

El método de distribución hipergeométrica puede constituir una base argumental válida ante un tribunal en casos como el del camello descrito anteriormente. La defensa podría alegar que probablemente los otros 78 bultos no examinados no contenían droga. Sin embargo, la probabilidad de que solo los dos bultos examinados contengan droga puede calcularse mediante la fórmula siguiente:

$$\frac{\binom{2}{2} \binom{78}{0}}{\binom{80}{2}} = 0,000316 ,$$

es decir, alrededor de 3 entre 10.000. Esta es una probabilidad muy baja. Si se tiene en cuenta que todos los bultos analizados de todos los camellos siempre han contenido droga, y se utiliza en enfoque bayesiano, la probabilidad será aún mucho menor.

Por lo general, cabe afirmar que los métodos bayesianos son preferibles si se dispone de información adicional preliminar, aun si se aduce que pueden basarse en hipótesis subjetivas. Si se desea evitar éstas completamente, o si se dispone de poca información preliminar, los métodos frecuentistas (hipergeométrico y binomial) resultan más adecuados porque son más fáciles de entender y explicar. Siempre proporcionan, sin embargo, información sobre el tamaño de las muestras de forma segura. Esto tiene la ventaja de que la defensa difícilmente podrá refutarla ante un tribunal, y el inconveniente del costo relacionado con el (con frecuencia) alto número de muestras, que se requieren (con frecuencia), como se señala en los dos ejemplos anteriores. Los modelos binomiales no son recomendables para las pequeñas incautaciones. Para éstas, solo cabe aplicar los modelos bayesianos (con distribución betabinomial) e hipergeométricos, en particular los últimos, más ampliamente utilizados.

Si es posible garantizar que la mayoría (al menos el 50%) de todas las unidades pueden contener droga, los resultados de la distribución hipergeométrica y el método bayesiano casi no difieren. Solo en casos muy extremos (como en el caso de las plantas de cáñamo) el método bayesiano establece un tamaño de muestra menor. En la mayor parte de los otros casos, el tamaño de muestra será de cinco aproximadamente.

5. Aspectos prácticos

El muestreo de pastillas puede presentar complicaciones específicas. ¿Cómo pueden muestrearse de forma realista 2.000 pastillas, todas en una bolsa, y que presentan las mismas características externas, e incluso el mismo logotipo?

El método hipergeométrico daría lugar nuevamente a 29 muestras (90% de proporción y 95% de probabilidad). Cabe intuir que se trata de un número elevado, y que es muy poco probable que el lote contenga muestras negativas. Una cuestión que debe tenerse en cuenta es el caso en que 2.000 pastillas similares no se hallen en un bulto, sino en cuatro, es decir, 500 pastillas en cada uno. ¿Significa esto que es necesario obtener 29 muestras cuatro veces, es decir, un total de 116 muestras? Desde un punto de vista puramente estadístico, tal vez. Desde un punto de vista práctico, no. Y desde un punto de vista de rentabilidad, probablemente tampoco. El enfoque estadístico correcto consistiría en combinar los cuatro bultos (solo si las sustancias son similares) y posteriormente realizar el muestreo pertinente; este método también presenta varios inconvenientes.

Además de la obtención de muestras (numerosas), se ha analizado anteriormente cómo tratar un elevado número de ellas en el laboratorio. En algunos laboratorios se suele realizar una prueba de la gota en cada muestra, aplicar posteriormente un tratamiento de CCD, a todas las muestras, o a una parte importante de ellas, y por último, de no hallarse ninguna diferencia, aplicar una técnica analítica muy selectiva solo a un reducido número de muestras. Esta estrategia parece razonable, aunque hasta ahora no se ha presentado ninguna base estadística sólida. Sin embargo, cabe esperar que el método se ajuste al enfoque bayesiano. De ser así, ello puede ahorrar mucho trabajo en el laboratorio.

El agrupamiento de muestras puede definirse como la preparación de una mezcla compuesta por varias muestras. Si se realiza de modo tal que el contenido de la mezcla denote su composición total, puede considerarse una estrategia muy eficaz para reducir la carga de trabajo. Dicha mezcla puede ser fácil de preparar. No obstante, en los lotes relativamente homogéneos plantea un inconveniente; por definición, el agrupamiento posibilita obtener información relativa al promedio, pero no sobre cada elemento concreto (aunque esto puede mejorarse mediante una investigación previa con la prueba del goteo).

Las estrategias de muestreo tienen que ser relativamente fáciles para que sean prácticas. Con el enfoque hipergeométrico será necesario interpretar varias muestras a partir de un cuadro, y sobre la base de algunos factores desconocidos, tomar una decisión si se prevé que en una muestra o dos no haya droga. El fundamento de esta expectativa no está claro. Así, probablemente se deba obtener y analizar un primer conjunto de muestras, y si se hallan algunas negativas, realizar un nuevo muestreo. Ello parece bastante complicado, incluso imposible, si la muestra se destruye inmediatamente después del muestreo. Y siempre el empleo de un método de muestreo normalizado, como si se previeran dos negativos, propicia un aumento del número de muestras (siempre 50 a 60), lo que puede parecer un poco exagerado, dado que casi en ningún caso se hallan negativos. En particular, si la policía o la aduana realizan el muestreo deberían guiarse por instrucciones fáciles de entender. En este contexto, los cuadros o los programas informáticos son menos convenientes. Algunos colegas han resuelto el problema siguiendo la instrucción de tomar un número fijo de muestras (por ejemplo, 25).

6. ¿Existe una estrategia de muestreo óptima?

En los capítulos anteriores se han descrito varios métodos de muestreo, así como algunos criterios acerca de las estrategias apropiadas. De todo ello no puede inferirse, sin embargo, qué estrategia es la óptima y en qué condiciones lo será. Esto obedece a la existencia de muchos factores pertinentes que desempeñan una función importante, incluidas las diferencias en relación con el tipo de drogas, el tamaño de las incautaciones, el objetivo de la investigación, la experiencia de los especialistas químicos y los tribunales en materia de drogas y las restricciones económicas.

Habida cuenta de lo anterior, se decidió no proporcionar ninguna orientación en materia de muestreo a nivel nacional o regional. En este sentido, debería adoptarse una decisión apropiada sobre la base de las estrategias descritas anteriormente con el objetivo fundamental de que la que se haya escogido se ajuste en cada caso a las necesidades de la fiscalía y los tribunales en su situación concreta, teniendo en cuenta de este modo los aspectos relativos a los costos y la gestión de los laboratorios.

En el anexo I se formulan orientaciones sobre el muestreo para casos de carácter internacional y se dan explicaciones al respecto. Estas orientaciones se basan en las estrategias y los aspectos enunciados en el presente documento, en que se han tomado en consideración tanto los aspectos científicos como prácticos.

7. Estimación del peso y el número de pastillas

La distribución t de Student, relativa a df grados de libertad (véase el cuadro 6), puede emplearse para calcular un intervalo que contenga, con el $(1-\alpha)$ 100% de probabilidad, el peso de una unidad de droga en una población.

1. Aplicación

Mediante la teoría relativa a la distribución t de Student se puede estimar el peso promedio de una unidad de droga en una población dentro de un determinado grado de confianza del $(1-\alpha)$ 100%.

Cuadro 6. Distribución t de Student

df	A		df	α	
	0,05	0,01		0,05	0,01
1	12,706	63,657	18	2,101	2,878
2	4,303	9,925	19	2,093	2,861
3	3,182	5,841	20	2,086	2,845
4	2,776	4,604	21	2,080	2,831
5	2,571	4,032	22	2,074	2,819
6	2,447	3,707	23	2,069	2,807
7	2,365	3,499	24	2,064	2,797
8	2,306	3,355	25	2,060	2,787
9	2,262	3,250	26	2,056	2,779
10	2,228	3,169	27	2,052	2,771
11	2,201	3,106	28	2,048	2,763
12	2,179	3,055	29	2,045	2,756
13	2,160	3,012	30	2,042	2,750
14	2,145	2,977	40	2,021	2,704
15	2,131	2,947	60	2,000	2,660
16	2,120	2,921	120	1,980	2,617
17	2,110	2,898	∞	1,960	2,576

Nota: Valores críticos de la ecuación para algunos grados de libertad df y un coeficiente de confianza α , igual a 0,05 ó 0,01.

Ello puede expresarse mediante la siguiente relación:

$$\bar{X} - \frac{s}{\sqrt{n}} t_{\alpha} \leq \mu \leq \bar{X} + \frac{s}{\sqrt{n}} t_{\alpha},$$

en la que:

μ = peso promedio de la unidad de droga en la población;

\bar{X} = peso promedio de la unidad de droga en la muestra;

s = desviación típica de las mediciones;

n = tamaño de la muestra;

y t_{α} es el valor crítico de la distribución t de Student con $df = n - 1$ grados de libertad dentro del coeficiente de confianza α (véase el cuadro 6).

En la práctica, puede utilizarse una aplicación informática apropiada para ayudar a determinar el intervalo de confianza aplicado al peso estimado de la unidad de droga.

Un criterio de aceptación habitual es tomar en consideración los resultados del muestreo si la relación entre la desviación típica s y el peso promedio \bar{X} de una unidad de droga en la muestra es inferior a 0,1 (RSD <10%). De lo contrario, es necesario aumentar el tamaño de la muestra para alcanzar el porcentaje deseado. (Si esto no es posible porque el peso de la muestra no es una variable aleatoria normalmente distribuida, podría ser necesario pesar toda la población, sin recurrir a otra deducción estadística).

La estimación del peso total de la población (W) puede obtenerse multiplicando por N el valor promedio y la desviación típica, como se expresa a continuación:

Si $w = N\bar{X}$ y $\sigma = Ns$, la estimación del peso total W vendrá dada por:

$$w - \frac{\sigma}{\sqrt{n}} t_{\alpha} \leq W \leq w + \frac{\sigma}{\sqrt{n}} t_{\alpha}.$$

Puede utilizarse el mismo método para estimar el peso total de las drogas ilícitas de una población tras evaluar la cantidad de droga presente en cada unidad de la muestra.

Si se obtienen r resultados negativos después del análisis de las unidades de droga, para estimar el peso total de la población (positivo), deberá utilizarse el factor de corrección

$$P_{corr} = \frac{n-r}{n}$$

$$P_{corr} w - \frac{P_{corr} \sigma}{\sqrt{n-r}} t_{\alpha}^* \leq W \leq P_{corr} w + \frac{P_{corr} \sigma}{\sqrt{n-r}} t_{\alpha}^*$$

Asimismo, para una población en la que $\frac{n}{N} > 0,1$, deberá aplicarse el factor de corrección

adicional $Q_{corr} = \sqrt{\frac{N-n}{N}}$, que dará como resultado la expresión:

$$P_{corr} w - Q_{corr} \frac{P_{corr} \sigma}{\sqrt{n-r}} t_{\alpha}^* \leq W \leq P_{corr} w + Q_{corr} \frac{P_{corr} \sigma}{\sqrt{n-r}} t_{\alpha}^*,$$

en la que t_{α}^* es el valor crítico de la distribución t de Student, con $(n-r-1)$ grados de libertad (véanse la publicación impresa Stoel y Bolck en imprenta). Cabe observar que no se ha tenido en cuenta la incertidumbre en P_{corr} , ni la existencia de más intervalos óptimos de confianza (véanse Alberink, Bolck y Stoel), ni tampoco la posibilidad de enfocar la estimación del peso desde una perspectiva bayesiana (véanse Aitken y Lucy, 2002).

Ejemplo 1

Supóngase que una población que se sospecha que contiene heroína está dispuesta en 100 bultos. Deseamos estimar el peso promedio de una unidad de droga en la población con una probabilidad del 95%.

Según la teoría de muestreo representativo aplicada, y siguiendo el ejemplo asociado a la distribución hipergeométrica indicado en el capítulo, debe tomarse una muestra de 23 unidades, y cada una de ellas pesarse y analizarse.

El peso neto promedio del polvo de las 23 unidades es $\bar{X} = 0.265g$, con una desviación típica s de 0,023 g. Puesto que el error es del 8,7%, se cumple el criterio de aceptación.

El valor de t_{α} que figura en el cuadro 6 es 2,074, el factor de corrección Q_{corr} es 0,877, y el peso estimado de toda la población W es:

$$(26,500 - 0,873) g \leq W \leq (26,500 + 0,873) g$$

Si se obtiene un resultado negativo tras el análisis de las unidades de droga, y se acepta por lo tanto una reducción del grado de confianza y/o del porcentaje garantizado de positivos, para los mismos valores de la desviación media típica el factor de corrección será $P_{corr} = 22/23$, el valor de t_{α}^* será 2,08, y Q_{corr} se mantendrá en 0,877. Si se supone, a efectos del presente ejemplo, que los valores de \bar{X} y s permanecen constantes, el peso estimado de la población de drogas total positiva W_1 será:

$$(25,348 - 0,856) g \leq W_1 \leq (25,348 + 0,856) g$$

Del mismo modo, si se obtienen dos resultados negativos, el factor de corrección será $P_{corr} = 21/23$, el valor de t_{α}^* será 2,0860, y Q_{corr} seguirá siendo 0,877. Todo ello dará a lugar a:

$$(24,196 - 0,839) g \leq W_2 \leq (24,196 + 0,839) g$$

Teoría

La teoría sobre la distribución t de Student puede resolver los problemas de estimación del promedio n de varias mediciones. La definición de dicha distribución, respecto de df grados de libertad, es la siguiente:

$$f(t) = \frac{\Gamma\left[\frac{1}{2}(df + 1)\right]}{\Gamma\left(\frac{df}{2}\right)\sqrt{\pi df}} \left(1 + \frac{t^2}{df}\right)^{-\frac{1}{2}(df+1)}$$

Si α es un índice umbral, el valor de t_α según el cual la probabilidad calculada entre $-t_\alpha$ y t_α es igual a $1 - \alpha$, viene determinado por la siguiente ecuación:

$$P_\alpha = 1 - \alpha = \frac{\Gamma\left[\frac{1}{2}(df + 1)\right]}{\Gamma\left(\frac{df}{2}\right)\sqrt{df\pi}} \int_{-t_\alpha}^{t_\alpha} \left(1 + \frac{t^2}{df}\right)^{-\frac{1}{2}(df+1)} dt$$

Los valores críticos de la ecuación para algunos valores de df y α se enumeran en el cuadro 6.

2. Estimación del número de pastillas

El cálculo del número de pastillas es sencillo. Puede estimarse fácilmente mediante la división del peso total de la incautación por el peso promedio estimado de cada pastilla.

Referencias

- Aitken C. G. G., Sampling – How big a sample?, *Journal of Forensic Sciences*, JFSCA, 1999, 44(4), 750 a760.
- Aitken C., Bring J., Leonard T., Papasouliotis O., Estimation of quantities of drugs handled and the burden of proof, *Statist. Soc.*, 1997, 160(2), 333 a 350.
- Aitken, C.G. G. & Lucy, D. Estimation of the quantity of a drug in a consignment from measurements on a sample, *Journal of Forensic Sciences*, JFSCA, 2002, 47, 968 a 975.
- Alberink, I., Bolck, A., & Stoel, R.D. (informe). Comparison of frequentist methods for estimating the total weight of consignments of drugs.
- Amraoui Y., Allio I., Garcia C., Perrin M., Echantillonnage et interprétation: application aux produits de saisie analysés par un laboratoire de toxicologie, ATA, 2001, vol XIII, n°4, 265 a 274.
- Azoury M., Grader-Sageev D., Avraham S., Evaluation of Sampling Procedure for Heroin Street Doses, *Journal of Forensic Sciences*, JFSCA, 1998, 43 (6), 1203 a 1207.
- Clark A. B, Clark C. B., Sampling of Multi-unit Drug Exhibits, *Journal of Forensic Sciences*, JFSCA, 1990, 35 (3), 713 a 719.
- Colon M., Rodriguez G., Diaz R. O., Representative Sampling of "Street" Drug Exhibits, *Journal of Forensic Sciences*, JFSCA, 1993, 38(3), 641 a 648.
- Coulson S. A., Coxon A., Buckleton J. S., How many Samples from a Drug Seizure Need to be analysed, *Journal of Forensic Sciences*, JFSCA, 2001, 46(6), 1456 a 1461.
- Frank, R. S., Hinkley, S. W. and Hoffman, C. G., Representative Sampling of Drug Seizures in Multiple Containers, *Journal of Forensic Sciences*, JFSCA, 1991, 36 (2), 350 a 357.
- Masson (Ed.), *Initiation aux méthodes de la statistique et du calcul des probabilités*, Paris, 1996, 179 a 180.
- Miller J., *Statistics and chemometrics for analytical chemistry*, 4th Edition, Pearson education limited, Harlow, 2000.
- PNUFID, *Métodos recomendados para el ensayo de los derivados anfetamínicos ilícitos con anillo sustituido ST/NAR/12*, 1987.

PNUFID, Métodos recomendados para el ensayo de opio, morfina y heroína, ST/NAR/29/Rev.1, 1998.

Stoel, R.D. y Bolck, A., A correction to Tzidony and Ravreby (1992): 'A Statistical Approach to Drug Sampling: A Case Study', *Journal of Forensic Sciences JFSCA* (en imprenta).

Sutherland G., J., Sampling and Identifying Multiple Discrete Objects containing Drugs, Analog, *Australasian Forensic Drug Analysis Bulletin*, Vol. 14, Núm. 1, enero de 1992, 9 a 12.

SWGDRUG, Sampling Seized Drugs for Qualitative Analysis, www.swgdrug.org

Tzidony D., Ravreby M., Statistical Approach to Drug Sampling: A Case Study, *Journal of Forensic Sciences, JFSCA*, 1992, 37(6), 1541 a 1549.

Anexo I

Instrucciones del programa informático *

El programa informático es una aplicación de Microsoft Excel 2000. Es necesario instalar el módulo complementario "Analysis ToolPack" (a tal efecto, hay que seleccionar Herramientas/Complementos.../Analysis ToolPack). La opción de "protección" (sin contraseña) está habilitada con objeto de que los usuarios solo puedan introducir datos en las celdas específicas que corresponda. Es posible inhabilitar esta opción si se desea realizar pruebas con el programa.

Excel puede procesar valores inferiores o iguales a $1E+308$. Si un número (ya sea un resultado o un cálculo intermedio) supera dicho valor, se producirá un error, señalado mediante "#NUM". Los usuarios deben ser conscientes de ello al trabajar con números grandes. Por ejemplo, los valores siguientes producirán un resultado incorrecto respecto del tamaño de la muestra: 100.000 pastillas, grado de confianza del 0,99, $k = 0,99$, y número de negativos previstos = 2. Ningún laboratorio utilizaría nunca estos valores tan poco realistas. Sin embargo, los usuarios deben conocer las limitaciones que presenta el programa.

El objeto del gráfico es meramente ilustrativo. Los valores de la escala de tamaños de muestra están comprendidos entre 1 y 100, puesto que este intervalo abarca la mayor parte de los resultados.

Muestreo hipergeométrico

- La hoja Excel presenta cinco secciones en la parte inferior (a saber, Instrucciones, Hipergeométrico, Bayesiano, Binomial y Estimación de peso).
- Escoja la sección *Hipergeométrico*
- Introduzca los valores deseados en los pasos 1, 2, 3 y 4.
- El tamaño de muestra requerido se proporcionará en el paso 5 (celda B5).

La función de distribución hipergeométrica Excel se utiliza del modo siguiente:

$$P = \text{HYPGEOMDIST}((n-r), n, (N*k)-1, N)$$

Esta función permite calcular la probabilidad de hallar $n-r$ positivos en una muestra de tamaño n obtenida de una población N que contiene $N*k-1$ positivos.

En el caso de prever 0 negativos ($r = 0$):

* El programa informático de muestreo de la ENFSI es una rutina automatizada disponible en el sitio web www.ENFSI.eu, en el apartado Documentos y Publicaciones. El programa ha sido validado.

Si P expresa la probabilidad de hallar n positivos, $1-P$ corresponderá a la probabilidad de no hallar ese número de positivos. Es decir, $1-P$ expresará la probabilidad de hallar al menos un negativo. Se escoge un tamaño de muestra n a fin de asignar un valor para $1-P$ que supere el nivel de confianza deseado ($1-\alpha$).

Nota 1: Puede suceder que se tomen varias muestras, suponiendo que no contienen ningún negativo; sin embargo, tras el análisis, una de ellas parece ser negativa. ¿Qué puede decirse, entonces, sobre la proporción de la incautación que da positivo en cuanto a la presencia de droga? El macro puede calcular también esa proporción. (Obsérvese que, según la configuración del programa Excel que se posea, se deberán utilizar puntos o comas para expresar los decimales).

Ejemplo:

Incautación de 1000 pastillas
Proporción de positivos: 0,9
Negativos previstos: 0
Grado de confianza: 0,95

Para el ejemplo anterior se requiere un tamaño de muestra igual a 28.

Supóngase que se han analizado esas 28 pastillas y que se ha hallado un negativo; ¿qué proporción de la incautación cabe esperar, con un 0,95 de confianza, que contenga positivos?

Paso 1: Comenzar en la posición inicial. Desplazar el cursor de la pantalla hacia abajo hasta que en la misma se visualice el tamaño de muestra 28 (esta contiene un valor de probabilidad del 0,951419384).

Paso 2: Sustituir el valor 0 de “negativos previstos” por 1 (ello reducirá el valor de la probabilidad del tamaño de muestra 28 a 0,793866654).

Paso 3: Reducir continuamente el valor de “proporción de positivos” hasta que el valor de la probabilidad del tamaño de muestra 28 sea igual o superior a 0,95 nuevamente (ello ocurrirá cuando $k=0,84$).

Por lo tanto, podemos afirmar con un 95% de confianza que el 84% de la incautación contiene positivos.

Nota 2: Los cálculos de la distribución hipergeométrica (HPD) se basan únicamente en números enteros. Por lo tanto, si el valor de partida (o el resultado de un cálculo intermedio) no es un entero, el programa informático lo redondeará a la baja, hasta el entero inferior más próximo. Esto puede producir algunas anomalías en lo que se refiere al tamaño de la muestra, en particular para valores reducidos de población. Por ejemplo, en el caso de una pequeña población de 12 pastillas (con $k = 0,5$ y $1-\alpha = 0,99$), el tamaño de la muestra calculado es de 5, mientras que si la población aumenta a 13, el tamaño de la muestra se reduce a 4. En el último caso ($k = 0,5$) el número de positivos en la población obtenido mediante este cálculo es $13 * 0,5 = 6,5$ pastillas. Lógicamente, la HPD no puede utilizar 6,5 pastillas como valor en sus cálculos, y por lo tanto lo redondeará a la baja, hasta 6. Por ello, el tamaño de la muestra se reduce en este caso porque la HPD calcula la probabilidad de hallar al menos un negativo cuando solo hay 6 pastillas positivas (en lugar de 6,5) en una población de 13 (en realidad, el proceso de redondeo en este caso ha cambiado el valor de k , que ha pasado de 0,5 a 0,46).

Muestreo bayesiano

1. Seleccionar la sección Bayesiano.
2. Introducir los valores deseados para los pasos 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

Nota 1: Aunque el tamaño de la población no se utiliza en los cálculos de la distribución beta, es necesario introducir el valor del tamaño de la población para que el programa informático pueda decidir si utiliza en los cálculos la distribución beta o la beta-binomial.

Nota 2: Los valores seleccionados para los pasos 2 y 3 (los valores de a y b) dependerán de los conocimientos previos del analista o las hipótesis sobre θ .

3. El tamaño de muestra necesario se proporcionará en el paso 7 (celda B7).

$$N \geq 50$$

La función de distribución beta de Excel se utiliza en este caso del modo siguiente:

$P(\theta > k) = \text{BETADIST}(k, a + (n-r), b + r, \text{límite inferior de } k, \text{límite superior de } k)$.

$$N \geq 50$$

La función $\Gamma(x)$ puede calcularse en Excel mediante la combinación de las funciones de hojas de cálculo EXP y GAMMALN, de la manera siguiente:

$$\text{GAMMALN}(x) = \text{LN}(\Gamma(x))$$

Puesto que la función EXP es la inversa de la función LN:

$$\text{EXP}(\text{GAMMALN}(x)) = \Gamma(x)$$

Esta función se añade a la ecuación de la distribución beta-binomial del modo siguiente:

$$P(Y \geq y) =$$

$$\frac{(\text{EXP}(\text{GAMMALN}(n+a+b)) * \text{COMBIN}(N-n, y) * \text{EXP}(\text{GAMMALN}(y+x+a)) * \text{EXP}(\text{GAMMALN}(N-x-y+b)))}{(\text{EXP}(\text{GAMMALN}(x+a)) * \text{EXP}(\text{GAMMALN}(n-x+b)) * \text{EXP}(\text{GAMMALN}(N+a+b)))}$$

Muestreo binomial

1. Seleccionar la sección Binomial.
2. Introducir los valores deseados para los pasos 1, 2 y 3.
3. El tamaño de muestra necesario se proporcionará en el paso 4 (celda B4).

La función de distribución binomial de Excel se utiliza en este caso del modo siguiente

$$P = \text{BINOMDIST}(n-r, n, k, \text{FALSE})$$

Estimación del peso

1. Seleccionar la sección *Estimación de peso*.
2. Introducir los valores deseados para los pasos 1 a 6.
3. El intervalo de confianza se proporciona en las celdas B12: D12

El intervalo de confianza se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{C.I.} = \text{peso medio} \pm t^*s/\sqrt{n}$$

Si se detecta algún negativo en las muestras, se aplica el factor de corrección que viene dado por la expresión $(n-r)/n$ del modo siguiente:

$$\text{C.I.} = (\text{peso medio}) * (n-r)/n \pm (t^*s/\sqrt{(n-r)}) * (n-r)/n$$

Para las poblaciones de menor tamaño, en las que $n/N > 0.1$, se aplica el factor de corrección adicional $\sqrt{(N-n)/N}$, que da lugar a la expresión:

$$\text{C.I.} = (\text{peso medio}) * (n-r)/n \pm (t^*s/\sqrt{(n-r)}) * (n-r)/n * \sqrt{(N-n)/N}$$

Estimación del número de pastillas

1. Seleccionar la sección *Estimación de pastillas*.
2. Introducir los valores deseados para los pasos 1 a 5.
3. El número estimado de pastillas se proporciona en la celda B9.

Anexo II

Muestreo a nivel nacional/regional o en el laboratorio *

El método de muestreo es una estrategia y su intensidad dependen en gran medida del objetivo último de los resultados, el planteamiento inicial y el propósito final de la investigación. Las legislaciones nacionales y las prácticas jurídicas determinan estos en su mayoría. El muestreo no está definido estrictamente en general y, por lo tanto, los cuerpos de policía regionales, los tribunales y los laboratorios regionales pueden elaborar sus propias estrategias de muestreo. El muestreo debería adaptarse a la finalidad de cada caso, es decir, debería y ser satisfactorio para el cliente, fácil de comprender, adaptado a la carga de trabajo del laboratorio, y rentable. Asimismo, debería tenerse en cuenta la experiencia en relación con el mercado local de drogas. Para el muestreo a nivel regional o nacional raras veces, una norma *general* difícilmente proporcionará soluciones ideales. En otras palabras, es decir, las orientaciones generales en materia de muestreo pueden dar por resultado, casi por definición, un número de muestras muy reducido o muy elevado; muy pocas muestras son insuficientes, y demasiadas derrochan tiempo y dinero. En consecuencia, las orientaciones de índole general sobre muestreo no pueden prevalecer sobre las normas definidas a nivel nacional o regional.

Así, no se considera conveniente recomendar un procedimiento de muestreo específico para utilizarlo a nivel nacional. Compete a las autoridades nacionales escoger y formular una estrategia de muestreo adecuada y precisa, que sea satisfactoria para todas las partes interesadas (policía, fiscales y tribunales) y aceptada por ellas. Con todo, se recomienda encarecidamente documentar la estrategia de muestreo y, si procede, enviar instrucciones escritas a la policía y/o las oficiales de aduanas.

Muestreo a nivel internacional

Se ha pedido a la ENFSI que aborde la cuestión del muestreo de grandes incautaciones con arreglo a criterios internacionales claramente definidos, por ejemplo, en casos en que los sospechosos se encuentren en más de un país. Se consideró necesario contar con una estrategia razonable a este respecto que estuviera ampliamente refrendada por los laboratorios forenses de los países de la UE, y que la policía y los oficiales de aduanas pudiera utilizar como directriz.

También a este respecto, el punto de partida es la estrategia de muestreo. Puesto que se desconoce el propósito final de los resultados del muestreo y los posteriores análisis químicos, que podrían variar de un caso a otro, solo se recomienda una estrategia de carácter general.

* Basado en la presentación relativa a las directrices de la ENFSI sobre muestreo representativo de drogas realizada por Kimmo Himberg, presidente de la ENFSI, ante el Grupo de trabajo de la UE para la cooperación policial, el 26 de noviembre de 2003.

Como ya se ha señalado anteriormente, no existe una única solución perfecta; toda estrategia de muestreo conlleva, por definición, una solución intermedia entre el nivel de perfección y la carga de trabajo, y depende en gran medida de diversas necesidades. En consecuencia, no existe una estrategia única plenamente refrendada por todas las partes interesadas. No obstante, la ENFSI busca una solución que goce de amplio apoyo, y dote a las distintas organizaciones europeas de un ámbito de actuación mayor en los casos que estimen apropiados. En determinadas circunstancias, el químico forense debería explicar los principios del muestreo. Esto es especialmente importante en la aplicación de métodos tales como la teoría bayesiana, que puede ser difícil de comprender para un lego.

Las orientaciones sobre las estrategias de muestreo a nivel internacional:

- deben tener un fundamento fácil de explicar desde un punto de vista estadístico;
- deben ser prácticas y fáciles de entender, incluso para la policía y los oficiales de aduanas;
- deben ser realistas, y no redundar en un aumento de la carga de trabajo de los laboratorios (es decir, deben posibilitar tiempos de rotación razonables);
- deben poder defenderse ante un tribunal.

Atendiendo a estos requisitos, se recomienda como que la norma mínima aplicable en casos internacionales importantes:

- la elaboración de un informe detallado sobre la incautación (descripción y número de muestras, pesos, bultos, origen, características externas, aspecto, imágenes, etc.) por parte de las autoridades encargadas de hacer cumplir la ley para el uso de los expertos forenses y los tribunales.
- el empleo de una técnica de muestreo basada en los el métodos hipergeométrico o bayesiano, con un grado de confianza del 95% y una nivel de proporción del 50% (al menos la mitad de los elementos).

Nota 1: Esto significa que deben obtenerse como mínimo cinco muestras para realizar un análisis químico, si se prevé que todas las unidades muestreadas contengan droga.

Nota 2: Si no es posible realizar un nuevo muestreo adicional, se recomienda obtener ocho muestras. Estas ocho muestras se basan en el resultado posible (pero improbable) de que una de ellas parezca ser negativa. En tal caso, aún puede garantizarse que el 50% de los bultos dará positivo en cuanto a la presencia de droga.

Nota 3: Si surgen dudas en relación con la sustancia, se recomienda obtener al menos once muestras. Esto se basa en el resultado posible (pero improbable) de que dos de esas muestras parezcan ser negativas. En tal caso, aún puede garantizarse que el 50% de los bultos dará positivo en cuanto a la presencia de droga.

Nota 4: Si un laboratorio forense lleva a cabo el muestreo, o el un submuestreo, el número de muestras puede depender del resultado efectivo del análisis químico. Pueden utilizarse cuadros hipergeométricos o bayesianos para calcular el tamaño de la muestra.

En las “Directrices sobre muestreo representativo de drogas” figura una descripción detallada de las diversas técnicas de muestreo.

كيفية الحصول على منشورات الأمم المتحدة

يمكن الحصول على منشورات الأمم المتحدة من المكتبات ودور التوزيع في جميع أنحاء العالم . استلم عنها من المكتبة التي تتعامل معها أو اكتب إلى : الأمم المتحدة ، قسم البيع في نيويورك أو في جنيف .

如何获取联合国出版物

联合国出版物在全世界各地的书店和经售处均有发售。 请向书店询问或写信到纽约或日内瓦的联合国销售组。

HOW TO OBTAIN UNITED NATIONS PUBLICATIONS

United Nations publications may be obtained from bookstores and distributors throughout the world. Consult your bookstore or write to: United Nations, Sales Section, New York or Geneva.

COMMENT SE PROCURER LES PUBLICATIONS DES NATIONS UNIES

Les publications des Nations Unies sont en vente dans les librairies et les agences dépositaires du monde entier. Informez-vous auprès de votre libraire ou adressez-vous à : Nations Unies, Section des ventes, New York ou Genève.

КАК ПОЛУЧИТЬ ИЗДАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ

Издания Организации Объединенных Наций можно купить в книжных магазинах и агентствах во всех районах мира. Наводите справки об изданиях в вашем книжном магазине или пишите по адресу: Организация Объединенных Наций, Секция по продаже изданий, Нью-Йорк или Женева.

COMO CONSEGUIR PUBLICACIONES DE LAS NACIONES UNIDAS

Las publicaciones de las Naciones Unidas están en venta en librerías y casas distribuidoras en todas partes del mundo. Consulte a su librero o diríjase a: Naciones Unidas, Sección de Ventas, Nueva York o Ginebra.



UNODC

Oficina de las Naciones Unidas
contra la Droga y el Delito

Vienna International Centre, PO Box 500, 1400 Vienna, Austria
Tel.: (+43-1) 26060-0, Fax: (+43-1) 26060-5866, www.unodc.org